

Docket No.: MUH-12807

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as First Class Mail in an envelope addressed to the Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on the date indicated below.

By: Markus Nollf Date: January 27, 2004

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applic. No. : 10/680,379 Confirmation No: 5870  
Applicant : Hagen Klauk, et al.  
Filed : October 6, 2003  
Art Unit : 1756

Docket No. : MUH-12807  
Customer No. : 24131

CLAIM FOR PRIORITY

Commissioner for Patents,  
P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon the German Patent Application 101 16 876.4, filed April 4, 2001.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

Markus Nollf  
For Applicant

Markus Nollf  
Reg. No. 37,006

Date: January 27, 2004

Lerner and Greenberg, P.A.  
Post Office Box 2480  
Hollywood, FL 33022-2480  
Tel: (954) 925-1100  
Fax: (954) 925-1101

/av

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 16 876.4

**Anmeldetag:** 4. April 2001

**Anmelder/Inhaber:** Infineon Technologies AG, München/DE

**Bezeichnung:** Selbstjustierte Kontaktdotierung für organische Feldeffekttransistoren

**IPC:** H 01 L 51/10

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. Dezember 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Ebert' with a stylized flourish at the end.

Ebert

# MÜLLER & HOFFMANN PATENTANWÄLTE

European Patent Attorneys - European Trademark Attorneys

Innere Wiener Strasse 17  
D - 81667 München

Anwaltsakte: 11000  
Anmelderzeichen: 2001 01134  
(2001 E 01080 DE)

04.04.2001

Ko/as

**Infineon Technologies AG**

St.-Martin-Str. 53

D-81669 München

---

**Selbstjustierte Kontaktdotierung für organische Feldeffekttransistoren**

---

Selbstjustierte Kontaktdotierung für organische Feldeffekttransistoren

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Dotierung elektrisch leitfähiger organischer Verbindungen, ein Verfahren zur Herstellung eines organischen Feldeffekttransistors sowie einen organischen Feldeffekttransistor.

Feldeffekttransistoren auf der Basis organischer Halbleiter sind für eine Vielzahl elektronischer Anwendung von Interesse, die extrem niedrige Fertigungskosten, flexible oder unzerbrechliche Substrate, oder die Herstellung von Transistoren und integrierten Schaltungen über große aktive Flächen erfordern. Zum Beispiel eignen sich organische Feldeffekttransistoren als Pixelsteuerelemente in Aktiv-Matrix-Bildschirmen. Solche Bildschirme werden gewöhnlich mit Feldeffekttransistoren auf der Basis amorpher oder polykristalliner Siliziumschichten hergestellt. Die für die Herstellung hochwertiger Transistoren auf der Basis amorpher oder polykristalliner Siliziumschichten notwendigen Temperaturen von gewöhnlich mehr als 250 °C erfordern die Verwendung starrer und zerbrechlicher Glas- oder Quarzsubstrate. Dank der relativ niedrigen Temperaturen, bei denen Transistoren auf der Basis organischer Halbleiter hergestellt werden, von gewöhnlich weniger als 100 °C, erlauben organische Transistoren die Herstellung von Aktiv-Matrix-Bildschirmen unter Verwendung billiger, flexibler, transparenter, unzerbrechlicher Polymerfolien mit erheblichen Vorteilen gegenüber Glas- oder Quarzsubstraten.

Ein weiteres Anwendungsgebiet für organische Feldeffekttransistoren liegt in der Herstellung von sehr preiswerten integrierten Schaltungen, wie sie z. B. für die aktive Kennzeichnung und Identifizierung von Waren und Gütern zum Einsatz kommen. Diese sogenannten Transponder werden gewöhnlich unter Verwendung von integrierten Schaltkreisen auf der Basis von einkristallinem Silizium hergestellt, was zu erheblichen Kosten bei der Aufbau- und Verbindungstechnik führt. Die Herstellung von Transpondern auf der Grundlage organischer Transistoren würde zu enormen Kostensenkungen führen und könnte der Transponder-Technologie zum weltweiten Durchbruch verhelfen.

Bei der Herstellung von Dünnschichttransistoren sind gewöhnlich vier Schritte erforderlich, in denen die verschiedenen Schichten des Transistors abgeschieden werden. In einem ersten Schritt wird die Gateelektrode auf einem Substrat abgeschieden, anschließend wird auf der Gateelektrode das Gate-Dielektrikum abgeschieden und in einem weiteren Schritt die Source- und die Drainelektrode. Im letzten Schritt wird der Halbleiter zwischen der Source- und der Drainelektrode auf dem Gatedielektrikum abgeschieden.

Von H. Klauk, D. J. Gundlach, M. Bonse, C.-C. Kuo und T. N. Jackson (Appl. Phys. Lett. 76, 1692 - 1694 (2000)) ist eine vereinfachte Struktur für einen organischen Dünnschichttransistor vorgeschlagen worden, wobei nur drei Schritte für die Abscheidung der einzelnen Schichten des Transistors erforderlich sind. Dabei werden Gateelektrode sowie Source- und Drainelektroden in einem einzelnen Schritt gemeinsam auf dem Substrat abgeschieden. Anschließend werden Gatedielektrikum und der organische Halbleiter abgeschieden. Bei diesem Aufbau überlappen Gateelektrode und Source-

bzw. Drainelektrode nicht mehr, so dass im organischen Halbleiter Bereiche entstehen, die nicht mehr vom Feld der Gateelektrode beeinflusst werden. Die Mobilität und die Dichte der Ladungsträger ist in diesen Bereichen daher vergleichsweise gering und kann durch die an der Gateelektrode anliegende Spannung nicht erhöht werden. Durch eine relative Verlängerung des Leitungskanals gegenüber den Bereichen, welche von der Gateelektrode nicht beeinflusst werden, lassen sich die Eigenschaften des Dünnschichttransistors jedoch bis zu einem gewissen Grad verbessern.

● Eines der Hauptprobleme bei der Anwendung organischer Feldeffekttransistoren sind die relativ schlechten elektrischen Eigenschaften der Source- und Drainkontakte. Source- und Drainkontakte sind notwendig, um elektrische Ladungsträger am Sourcekontakt in die Halbleiterschicht zu injizieren und um elektrische Ladungsträger am Drainkontakt aus der Halbleiterschicht zu extrahieren, so dass von Source nach Drain ein elektrischer Strom durch die Halbleiterschicht fließen kann. Die Source- und Drainkontakte organischer Transistoren werden meist unter Verwendung anorganischer Metalle oder mit Hilfe leitfähiger Polymere erzeugt, um so eine möglichst hohe elektrische Leitfähigkeit der Kontakte zu gewährleisten.

Die elektrischen Eigenschaften der Source- und Drainkontakte sind oft beschränkt durch die geringe elektrische Leitfähigkeit des organischen Halbleitermaterials. Beschränkend wirkt also nicht die Leitfähigkeit der Kontakte selbst, sondern die Leitfähigkeit der an die Kontakte angrenzenden Halbleiterbereiche, in welche die Ladungsträger injiziert bzw. aus welchen die Ladungsträger extrahiert werden. Die meisten organischen Halbleiter, die für

die Verwendung in organischen Feldeffekttransistoren in Frage kommen, haben sehr geringe elektrische Leitfähigkeiten. Zum Beispiel hat Pentazen, das häufig für die Herstellung organischer Feldeffekttransistoren verwendet wird, eine sehr geringe elektrische Leitfähigkeit von etwa  $10^{-14} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ . Besitzt der organische Halbleiter eine geringe elektrische Leitfähigkeit, weisen die Source- und Drainkontakte oft sehr hohe Kontaktwiderstände auf, was dazu führt, dass hohe elektrische Feldstärken an den Kontakten erforderlich sind, um Ladungsträger zu injizieren und zu extrahieren. Um die elektrischen Eigenschaften der Source- und Drainkontakte zu verbessern, d. h. um die Kontaktwiderstände zu verringern, ist deshalb eine hohe elektrische Leitfähigkeit des organischen Halbleitermaterials in den an die Kontakte angrenzenden Bereichen notwendig.

Andererseits hat eine hohe elektrische Leitfähigkeit des organischen Halbleiters in der Kanalregion einen negativen Einfluss auf die Eigenschaften des Transistors. Die Kanalregion ist der Bereich des Feldeffekttransistors, der sich zwischen dem Sourcekontakt und dem Drainkontakt befindet und dessen elektrische Leitfähigkeit durch das an die Gatelektrode angelegte elektrische Feld gesteuert wird. Eine nennenswerte elektrische Leitfähigkeit im Ladungsträgerkanal führt unweigerlich zu hohen Leckströmen, d. h. zu relativ hohen elektrischen Stromstärken im ausgeschalteten Zustand. Für viele Anwendungen sind aber niedrige Leckströme im Bereich von  $10^{-12} \text{ A}$  oder weniger unabdingbar. Eine hohe elektrische Leitfähigkeit führt außerdem dazu, dass das Verhältnis zwischen maximalem Einschaltstrom und minimalen Ausschaltstrom zu gering ausfällt. Viele Anwendungen erfordern ein möglichst großes Verhältnis zwischen Einschaltstrom und Ausschaltstrom im Bereich von



$10^7$  oder größer, da dieses Verhältnis das Modulationsverhalten und das Verstärkungsverhalten des Transistors widerspiegelt.

Im der Kanalregion ist daher eine geringe elektrische Leitfähigkeit des Halbleiters erforderlich, während im Bereich der Source- und Drainkontakte eine hohe elektrische Leitfähigkeit notwendig ist, um die Kontakteigenschaften zu verbessern.

Bei der Herstellung von Feldeffekttransistoren auf der Basis von amorphen oder polykristallinen Siliziumschichten erfolgt die Dotierung der Kontaktbereiche durch das Einbringen von Phosphor oder Bor in die Siliziumschicht nahe der Source- und Drainkontakte. Die Phosphor- oder Boratome werden in das Siliziumnetzwerk eingebaut und wirken als Ladungsdonatoren oder Ladungsakzeptoren, wodurch sich die Dichte der freien Ladungsträger und damit die elektrische Leitfähigkeit des Siliziums im dotierten Bereich erhöht. Die Dotiersubstanz wird dabei nur im Bereich der Source- und Drainkontakte in das Silizium eingebracht, nicht aber in der Kanalregion. Da Phosphor und Bor kovalente Bindungen mit dem Silizium eingehen, besteht keine Gefahr der Diffusion dieser Atome in die Kanalregion, so dass eine geringe elektrische Leitfähigkeit im Ladungsträger weiterhin garantiert ist.

Die elektrische Leitfähigkeit vieler organischer Halbleiter kann ebenfalls durch das Einbringen geeigneter Dotiersubstanzen erhöht werden. Die Erzielung positioneller Selektivität beim Dotieren ist jedoch problematisch. Dotiersubstanzen sind in organischen Halbleitern nicht an eine bestimmte Position gebunden und können sich innerhalb des Materials frei bewe-

gen. Selbst wenn der Dotierungsprozess ursprünglich auf einen bestimmten Bereich, wie z. B. die Bereiche um die Source- und Drainkontakte, beschränkt werden kann, kommt es später zu einer Wanderung der Dotiersubstanzen durch die gesamte organische Halbleiterschicht, insbesondere unter dem Einfluss des elektrischen Feldes, das zwischen den Source- und Drainkontakten angelegt wird, um den Transistor zu betreiben. Durch die Diffusion der Dotiersubstanz innerhalb der organischen Halbleiterschicht erhöht sich unweigerlich die elektrische Leitfähigkeit in der Kanalregion.

Die Schwierigkeiten einer ortsfesten Dotierung treten allgemein bei elektrisch leitenden organischen Verbindungen auf. Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Dotierung elektrisch leitfähiger organischer Verbindungen zur Verfügung zu stellen, bei dem die Dotierung ortsstabil in der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung fixiert wird, so dass auch unter Einfluss eines elektrischen Feldes die Dotiersubstanz in der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung nicht diffundiert.

Die Aufgabe wird gelöst mit einem Verfahren zur Dotierung elektrisch leitfähiger organischer Verbindungen, wobei eine durch Belichtung mit einer Aktivierungsstrahlung aktivierbare Dotiersubstanz in eine elektrisch leitfähige organische Verbindung eingebracht wird, und die elektrisch leitfähige organische Verbindung mit der Aktivierungsstrahlung belichtet wird, wodurch die aktivierbare Dotiersubstanz irreversibel in der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung fixiert wird.

Durch den Einbau der Dotiersubstanz lässt sich die Leitfähigkeit der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung erhöhen. Da die Dotiersubstanz in der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung irreversibel fixiert ist, treten auch keine Schwierigkeiten durch die Diffusion der Dotierung, z.B. in einem elektrischen Feld, mehr auf.

Die elektrisch leitfähige organische Verbindung unterliegt an sich keinen Beschränkungen. Als geeignete Verbindungen können Polyene angeführt werden, wie Anthrazen, Tetrazen oder Pentazen, Polythiophene oder Oligothiophene, sowie deren substituierte Abkömmlinge, Polypyrrole, Poly-p-phenylene, Poly-p-phenylvinylidene, Naphthalindicarbonsäuredianhydride, Naphthalinbismide, Polynaphthaline, Phthalocyanine, Kupfer-Phthalocyanine oder Zink-Phthalocyanine sowie deren substituierte, insbesondere fluorierte Abkömmlinge.

Als Aktivierungsstrahlung kann jede Strahlung verwendet werden, welche die Dotiersubstanz in einen aktivierten Zustand überführen kann. Beispielsweise kann durch die Belichtung ein Bindungsbruch unter Entstehung eines freien Radikals bewirkt werden, wobei das Radikal anschließend mit der elektrisch leitfähigen Verbindung unter Ausbildung einer Bindung reagiert. Die Aktivierungsstrahlung weist im allgemeinen eine Wellenlänge von etwa  $10^{-9}$  m bis  $10^{-5}$  m auf. Es kann monochromatisches Licht verwendet werden oder bevorzugt polychromatisches Licht. Eine geeignete Lichtquelle für die Aktivierungsstrahlung ist beispielsweise eine Quecksilberhochdrucklampe, welche ultraviolettes Licht emittiert.

Die Dotiersubstanz unterliegt an sich keinen Beschränkungen. Prinzipiell sind alle organischen, anorganischen und metallorganischen Substanzen geeignet, welche die folgenden Reaktionsschritte erlauben:

1. Reversible Diffusion in die elektrisch leitfähige organische Verbindung;
2. Belichtung mit geeigneter Wellenlänge, gegebenenfalls auch bei erhöhter Temperatur, die in der eindiffundierten Substanz eine chemische Reaktion auslöst, durch welche die Dotiersubstanz in der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung fixiert wird.

Die einfachste Ausführung der Dotiersubstanz ist die Anwendung von Halogenverbindungen, wie Chlor, Brom oder Iod bzw. deren Interhalogenverbindungen. Diese Verbindungen dotieren die elektrisch leitfähige organische Verbindung in ihrer molekularen Form. Eine Belichtung mit einer geeigneten Wellenlänge führt zu einer Fotohalogenierung der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung. Die Bindung des Halogens an das Halbleitermaterial ist in diesem Fall kovalent, wodurch nachfolgende Diffusion ausgeschlossen wird. Die Halogene lassen sich sowohl aus der Lösung als auch aus der Gasphase applizieren.

Analog können die leichtflüchtigen bzw. gasförmigen Verbindungen des Bors (Boran), Phosphors (Phosphan, Phosphine), Arsens, Antimons, Schwefels, Germaniums und Siliziums verwendet werden, sofern sie funktionelle Gruppen tragen, die einer Belichtung zugänglich sind, im unbelichteten Zustand jedoch nicht spontan mit dem organischen Halbleiter reagieren.

Metallcarbonylverbindungen wie  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ ,  $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ,  $\text{Co}(\text{CO})_6$ ,  $\text{Mo}(\text{CO})_6$ ,  $\text{Cr}(\text{CO})_6$  eignen sich für die Dotierung besonders, da sie fotolabil sind und durch Abspaltung von Kohlenmonoxid in koordinativ ungesättigte Spezies übergehen. Die koordinativ ungesättigten Spezies werden von der gewöhnlich aromatischen elektrisch leitfähigen organischen Verbindung unter Ausbildung einer koordinativen Bindung fixiert. Diese Fixierung ist im bevorzugten Temperaturbereich bis  $300^\circ\text{C}$  irreversibel. Das fotochemisch abgespaltene Kohlenmonoxid diffundiert aus der organischen Halbleiterschicht. Neben den Carbonylkomplexen der Übergangsmetalle eignen sich auch deren partiell substituierte Abkömmlinge. Beispiele sind Verbindungen mit Phosphin, Cyclopentadienyl-Liganden, Cyclobutadienyl-Liganden oder Cyclooctatetraenyl-Liganden.

Die Breite der anwendbaren Metallorganika ist nicht nur auf Carbonylkomplexe beschränkt, prinzipiell sind alle Verbindungen geeignet, die bei Belichtung eine leicht flüchtige und leicht diffundierende Verbindung abspalten und sich anschließend durch Ausbildung einer koordinativen Bindung mit der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung absättigen. Weitere Beispiele für geeignete Verbindungen sind  $\text{Mo}(\text{N}_2)_2(\text{PH}_3)_4$  oder  $\text{Pd}(\text{R}-\text{C}=\text{C}-\text{R})_2$ , wobei R für einen organischen Rest steht. Bei Belichtung spalten diese Verbindungen leicht flüchtige Verbindungen ab wie  $\text{N}_2$ ,  $\text{P}(\text{CH}_3)_3$ ,  $\text{P}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ , Cyclobutan,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  usw.

Die Vorteile dieser Verbindungsklasse sind ihre leichte Flüchtigkeit bzw. gute Löslichkeit in gegenüber der elektrisch leitfähigen organischen Verbindungen inerten Lösungsmitteln.

Beispiele für geeignete inerte Lösungsmittel, in denen die Dotiersubstanzen für die Diffusion in die elektrisch leitfähige organische Verbindung gelöst werden können, sind unter anderem Alkane, wie Pentan, Hexan und Heptan, Aromaten, wie Benzol, Toluol oder Xylole, Alkohole, wie Methanol, Ethanol oder Propanol, Ketone, wie Aceton, Ethylmethyleketon und Cyclohexanon, Ester wie Ethylacetat oder Ethyllactat, Lactone, wie  $\gamma$ -Butyrolacton, N-Methylpyrrolidon, halogenierte Lösungsmittel, wie Methylenchlorid, Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff oder Chlorbenzol. Es können auch Mischungen der genannten Lösungsmittel verwendet werden.

Die Zahl der organischen Verbindungen, die als Dotiersubstanz eingesetzt werden können, ist außerordentlich hoch. Besonders geeignet sind jedoch hochreaktive Verbindungen, wie die gasförmigen bzw. leicht verdampfbaren Diazoverbindungen Diazomethan und Diazodichlormethan. Bei Belichtung reagieren diese Verbindungen spontan mit der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung.

Nach der Belichtung wird ungebundene Dotiersubstanz bevorzugt aus der elektrisch leitenden organischen Verbindung wieder entfernt. Die Entfernung überschüssiger Dotiersubstanz kann beispielsweise bei vermindertem Druck oder erhöhter Temperatur erfolgen. Insbesondere wenn die elektrisch leitfähige organische Verbindung unbelichtete Bereiche umfasst, wird nach Entfernung der nicht abreagierten Dotiersubstanz in diesen Bereichen die ursprüngliche elektrische Leitfähigkeit der organischen Verbindung wiederhergestellt.

Ein wesentlicher Punkt der Erfindung besteht darin, dass die Dotiersubstanz irreversibel in der elektrisch leitfähigen organi-

schen Verbindung fixiert wird, also weder aus der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung herausdiffundieren kann, noch in einem elektrischen Feld wandern kann. Bevorzugt erfolgt die irreversible Fixierung der Dotiersubstanz durch Ausbildung einer kovalenten Bindung und/oder durch Ausbildung einer koordinativen Bindung zur elektrisch leitfähigen organischen Verbindung.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich besonders für die Herstellung organischer elektronischer Bauteile, wie Transistoren oder Dioden. Vorzugsweise ist die elektrisch leitfähige organische Verbindung daher ein organischer Halbleiter. Durch die Dotierung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lässt sich die Leitfähigkeit des organischen Halbleiters innerhalb mehrerer Zehnerpotenzen variieren. Ein organischer Halbleiter ist eine organische Verbindung, deren elektrische Leitfähigkeit größer als die eines typischen Isolators, aber kleiner als die eines typischen Metalls ist. Insbesondere zeichnet sich ein organischer Halbleiter dadurch aus, dass seine elektrische Leitfähigkeit über weite Bereiche moduliert, dass heisst durch das Einbringen geeigneter Dotiersubstanzen oder durch das Einwirken elektrischer Felder, verändert werden kann.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich auch für die Herstellung großflächiger elektronischer Schaltanordnungen, wie sie z. B. für die Steuerung von Aktivmatrix-Displays verwendet werden. Um Bereiche mit unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit erzeugen zu können, wird die Belichtung der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung vorzugsweise abschnittsweise durchgeführt. Dadurch erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung nur in den belichteten Berei-

chen, während in den unbelichteten Bereichen nach Entfernung nicht abreagierter Dotiersubstanz die ursprüngliche elektrische Leitfähigkeit wiederhergestellt wird.

Die abschnittsweise Belichtung kann beispielsweise mit einer Fotomaske durchgeführt werden. Es können dabei übliche Verfahren angewendet werden, die aus der Herstellung von Halbleiterelementen bekannt sind.

Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens sind in der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung lichtundurchlässige Bereiche vorgesehen, welche für die zur Belichtung verwendete Aktivierungsstrahlung undurchlässig sind. Bei der Belichtung werden in der elektrisch leitfähigen Verbindung unbelichtete Abschnitte erhalten, die in Richtung von einer zur Belichtung verwendeten Strahlungsquelle zur elektrisch leitfähigen organischen Verbindungen gesehen hinter den lichtundurchlässigen Bereichen angeordnet sind. Die lichtundurchlässigen Bereiche schirmen die auf der von der Strahlungsquelle abgewandten Seite angeordneten Bereiche der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung von der Aktivierungsstrahlung ab, so dass in diesen Bereichen keine Dotierung mit der Dotiersubstanz und damit auch keine Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit erfolgt. Durch eine geschickte Anordnung der lichtundurchlässigen Bereiche in der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung kann daher auf eine Fotomaske verzichtet werden, wodurch erhebliche Einsparungen bei der Herstellung derartiger organischer elektronischer Bauteile erreicht werden können. Die lichtundurchlässigen Bereiche können beispielsweise von einer Gateelektrode eines Transistors gebildet werden.



Das oben beschriebene Verfahren eignet sich prinzipiell für die Herstellung verschiedenartiger organischer elektronischer Bauteile. Besonders eignet es sich jedoch für die Herstellung von organischen Feldeffekttransistoren, da sich diese aus Flächen innerhalb verschiedener Schichten eines größeren elektronischen Bauelements zusammensetzen. Die einzelnen Schichten lassen sich sehr einfach selektiv in verschiedenen Abschnitten belichten.

Gegenstand der Erfindung ist daher auch ein Verfahren zur Herstellung eines organischen Feldeffekttransistors, wobei auf einem Substrat eine Gateelektrode, ein Sourcekontakt, ein Drainkontakt, ein Gatedielektrikum und ein organischer Halbleiter abgeschieden wird, in den organischen Halbleiter eine durch Belichtung mit einer Aktivierungsstrahlung aktivierbare Dotiersubstanz eingebracht wird, mit der Aktivierungsstrahlung abschnittsweise belichtet wird, so dass in an den Sourcekontakt und den Drainkontakt angrenzenden Bereichen des organischen Halbleiters die Dotiersubstanz irreversibel im organischen Halbleiter fixiert wird, und an den Sourcekontakt und den Drainkontakt angrenzende Kontaktbereiche mit erhöhter elektrischer Leitfähigkeit erhalten werden.

Der organische Feldeffekttransistor zeigt also den üblichen Aufbau, wobei jedoch während der Herstellung ein Dotierschritt zwischengeschaltet wird, in dem die elektrische Leitfähigkeit in den Abschnitten erhöht wird, in denen später ein Übergang der Ladungsträger zwischen dem Source- bzw. Drainkontakt und dem organischen Halbleiter erfolgen soll. Um eine selektive Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit in bestimmten Abschnitten des organi-

schen Halbleiters zu erreichen, wird auf den organischen Halbleiter nach bekannten Verfahren eine Fotomaske aufgebracht und anschließend der organische Halbleiter mit einer geeigneten Aktivierungslänge, z. B. UV-Strahlung, bestrahlt, so dass die Dotiersubstanz irreversibel im organischen Halbleiter fixiert wird. Dabei können beispielsweise die weiter oben beschriebenen Dotiersubstanzen verwendet werden.

Nach einer besonderen Ausführungsform des Verfahrens werden die einzelnen Elemente des Feldeffekttransistors so angeordnet, dass auf eine Fotomaske verzichtet werden kann. Dazu wird auf einem für eine Aktivierungsstrahlung transparenten Substrat eine Gateelektrode sowie zur Gateelektrode beabstandete Source- und Drainkontakte abgeschieden, auf der Gateelektrode ein Gatedielektrikum in der Weise abgeschieden, dass zwischen Gatedielektrikum und Sourcekontakt sowie zwischen Gatedielektrikum und Drainkontakt ein Abstand erhalten wird, in dem das Substrat unbedeckt ist. Anschließend wird ein organischer Halbleiter auf dem Substrat, dem Sourcekontakt, dem Drainkontakt und dem Gatedielektrikum abgeschieden, wobei der Abstand zwischen Gatedielektrikum und Sourcekontakt und/oder der Abstand zwischen Gatedielektrikum und Drainkontakt von dem organischen Halbleiter ausgefüllt wird, eine durch Belichtung mit der Aktivierungsstrahlung aktivierbare Dotiersubstanz in den organischen Halbleiter eingebracht und schließlich von der Seite des Substrats mit der Aktivierungsstrahlung belichtet, so dass angrenzend zum Sourcekontakt und zum Drainkontakt Kontaktbereiche mit erhöhter Leitfähigkeit im organischen Halbleiter erhalten werden. Zuletzt wird überschüssige Dotiersubstanz aus dem organischen Halbleiter entfernt.

Die Gateelektrode, welche durch das Gatedielektrikum isoliert ist, schirmt die Aktivierungsstrahlung von den auf der von der Belichtungsquelle abgewandten Seite angeordneten Bereichen des organischen Halbleiters ab. Dadurch erfolgt bei der Belichtung in diesen Bereichen keine irreversible Dotierung des organischen Halbleiters. Wird nach der Belichtung die in diesen Bereichen vorhandene Dotiersubstanz wieder entfernt, erhält der organische Halbleiter wieder seine ursprüngliche niedrige elektrische Leitfähigkeit. Diese Bereiche bilden den Leitungskanal bzw. die Kanalregion des organischen Feldeffekttransistors, der durch das Feld der Gateelektrode beeinflusst wird. In den belichteten Bereichen ist die Leitfähigkeit des organischen Halbleiters um mehrere Zehnerpotenzen erhöht. Dadurch werden die an den Übergängen zwischen Sourceelektrode und organischem Halbleiter auftretenden Kontaktwiderstände deutlich verringert, wodurch sich die Eigenschaften des Transistors wesentlich verbessern.

Vorzugsweise werden Gateelektrode, Source- und Drainkontakt gleichzeitig auf dem Substrat abgeschieden. Gateelektrode, Source- und Drainkontakt bestehen dann aus dem gleichen Material und ihre Abscheidung erfolgt in einem einzelnen Arbeitsschritt, wodurch weitere Kosteneinsparungen möglich sind.

Besonders bevorzugt ist das Gatedielektrikum aus einem für die Aktivierungsstrahlung transparenten Material aufgebaut. Es werden dann bei Belichtung von der Rückseite der Anordnung her auch die Bereiche des organischen Halbleiters belichtet und dotiert, die oberhalb des Gatedielektrikums ausserhalb des von der Gateelektrode abgeschirmten Bereichs angeordnet sind. Die dotierten Kontaktgebiete schließen sich dann nahtlos an das vom Feld der Ga-

teelektrode beeinflusste Gebiet an. Die Auswahl des für das Gate-dielektrikum verwendeten Materials hängt von der Wellenlänge der Aktivierungsstrahlung ab, also von der Art der Dotiersubstanz und vom energetischen Zusammenspiel zwischen Dotiersubstanz und Halbleiter. Siliziumdioxid ist zum Beispiel für Wellenlängen aus dem Bereich des sichtbaren Lichts und des nahen UV transparent, nicht aber für UV-Licht mit Wellenlängen unterhalb von etwa 350 nm.

Wie bereits erläutert, lässt sich durch geschickte Anordnung der Elemente eines Transistors die Verwendung einer Fotomaske vermeiden. Ferner lassen sich Source- und Drainkontakt sowie Gateelektrode so anordnen, dass sie in einem gemeinsamen Arbeitsschritt auf dem Substrat abgeschieden werden können. Dadurch lassen sich mit den oben beschriebenen Verfahren leistungsfähige Transistoren verwirklichen, die kostengünstig herzustellen sind.

Gegenstand der Erfindung ist daher auch ein organischer Feldeffekttransistor mit einer Gateelektrode, einem die Gateelektrode isolierenden Gatedielektrikum, einem Sourcekontakt, einem Drainkontakt und einem zwischen Source- und Drainkontakt angeordneten organischen Halbleiter, wobei der organische Halbleiter angrenzend an den Sourcekontakt und/oder den Drainkontakt einen Kontaktbereich aufweist, der mit einer im organischen Halbleiter irreversibel fixierten Dotiersubstanz dotiert ist.

Besonders kostengünstig lässt sich der organische Feldeffekttransistor herstellen, wenn der organische Feldeffekttransistor eine Vorder- und eine Rückseite aufweist und die Rückseite zumindest einen Abschnitt umfasst, der von dem organischen Halbleiter gebildet wird. Der von dem organischen Halbleiter gebildete Ab-

schnitt lässt sich dann selektiv belichten, indem die Rückseite mit einer entsprechenden Aktivierungsstrahlung belichtet wird. Die belichteten Abschnitte weisen durch die irreversibel fixierte Dotiersubstanz eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit auf.

Bevorzugt umfasst die Rückseite mindestens einen Abschnitt, der vom Sourcekontakt oder vom Drainkontakt gebildet wird, der sich an den vom organischen Halbleiter gebildeten Abschnitt anschließt. Sourcekontakt und Drainkontakt sind in diesem Fall direkt auf dem Substrat angeordnet, wobei sich ebenfalls direkt auf dem Substrat angeordnete Bereiche des organischen Halbleiters an diese anschließen. Der vom organischen Halbleiter gebildete Abschnitt ist vorzugsweise mit der irreversibel dotierten Substanz dotiert und weist daher eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit auf, was den Übergang der Ladungsträger zwischen den Kontakten und dem organischen Halbleiter erleichtert. Die Dotiersubstanz ist dabei vorzugsweise durch eine kovalente oder eine koordinative Bindung im organischen Halbleiter irreversibel fixiert.

Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform weisen in Aufsicht auf den organischen Feldeffektransistor Gateelektrode, Sourcekontakt und Drainkontakt keine Überlappung auf und zwischen der Gateelektrode und dem Sourcekontakt und/oder zwischen der Gateelektrode und dem Drainkontakt sind Abschnitte des organischen Halbleiters angeordnet, die mit der irreversibel fixierten Dotiersubstanz dotiert sind, und eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit aufweisen.

Source- und Drainkontakt sind dabei bevorzugt als flächige Schicht ausgebildet. Da in diesem Fall keine Überlappung zwischen

den Kontakten und der Gateelektrode vorhanden sind, existieren im organischen Halbleiter Bereiche zwischen Sourcekontakt und Drainkontakt, die vom Feld der Gateelektrode nicht beeinflusst werden. Da aber die Bereiche, die in Aufsicht zwischen Sourcekontakt und Gateelektrode bzw. Drainkontakt und Gateelektrode angeordnet sind, mit der Dotiersubstanz dotiert sind, weisen diese eine um mehrere Zehnerpotenzen erhöhte Leitfähigkeit gegenüber dem auf der Gateelektrode angeordneten Abschnitt des organischen Halbleiters auf. Die Funktion des Transistors wird daher durch diese Bereiche nicht beeinträchtigt, sondern verbessert.

Als Materialien für die Gateelektrode und die Source- sowie Drainkontakte sind prinzipiell alle Metalle geeignet, vorzugsweise Palladium, Gold, Platin, Nickel, Kupfer, Aluminium wie auch elektrisch leitfähige Oxide (z. B. Rutheniumoxid und Indiumzinnoxid), sowie auch elektrisch leitfähige Polymere, wie Polyzetylen oder Polyanilin.

Als Substrat dienen vorzugsweise preiswerte, flexible Polymerfolien auf der Basis von Polyethylenphthalat, Polyethylen-terephthalat, Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol, Epoxidharze, Polyimide, Polybenzoxazole, Polyether bzw. deren elektrisch leitfähig beschichtete Varianten, sowie flexible Metallfolien, Glas, Quarz, oder elektrisch leitfähig beschichtete Gläser.

Der oben beschriebene Transistor lässt sich kostengünstig und in hoher Ausbeute herstellen, wobei als Substrat insbesondere auch flexible Polymerfolien verwendet werden können. Dadurch erschließt sich eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten, beispielsweise in Aktiv-Matrix-Bildschirmen oder für Transponder.

Im Weiteren wird die Erfindung unter Bezugnahme auf eine beige-fügte Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 einen Querschnitt durch herkömmliche Strukturen verschiedener organischer Feldeffekttransistoren;

Fig. 2 einen Querschnitt durch einen Transistor mit vereinfachter Struktur;

Fig. 3 eine Darstellung zur Erläuterung der selbstjustierten Rückseitenbelichtung zur Dotierung von Kontaktbereichen.

Fig. 1 zeigt einen Aufbau, wie er bisher für organische Transistoren verwendet wird, wobei diese Transistoren entsprechend der Erfindung modifiziert wurden. Der Aufbau der in den Fig. 1(a) und 1(b) dargestellten organischen Transistoren erfordert dabei vier Abscheidungs- und Strukturierungsschritte, während bei dem in Fig. 1(c) gezeigten Aufbau nur drei Abscheidungsschritte erforderlich sind.

Bei der Herstellung des in Fig. 1(a) dargestellten Transistors wird zunächst auf einem Substrat 1 eine Metallschicht abgeschieden und strukturiert, um die Gateelektrode 2 zu erhalten. Das Substrat besteht z. B. aus Glas oder Quarz oder kann auch aus einem organischen Polymer hergestellt sein, um eine höhere Flexibilität der Anordnung verwirklichen zu können. Die Strukturierung der Gateelektrode 2 kann mit üblichen Verfahren durchgeführt werden, z.B. mittels Photolithographie, nasschemischem Ätzen, Plas-

maätzen, Drucken oder Abheben. Die Gateelektrode wird anschließend isoliert, indem ein Gatedielektrikum auf die Gateelektrode 2 und das sie umgebende Substrat 1 aufgebracht wird. Auf dem Gatedielektrikum 3 wird schließlich ein Sourcekontakt 4 und ein Drainkontakt 5 aufgebracht und strukturiert. Die Kontakte bestehen meist aus Metall oder elektrisch leitfähigen Polymeren. Der Sourcekontakt 4 und der Drainkontakt 5 werden so angeordnet, dass in Aufsicht auf den Transistor gesehen Bereiche 4a und 5a gebildet werden, in denen die Kontakte mit der Gateelektrode 2 überlappen. Zuletzt wird eine Schicht 6 eines organischen Halbleiters abgeschieden, wobei der Abstand zwischen Sourcekontakt 4 und Drainkontakt 5 vom organischen Halbleiter ausgefüllt wird. Dieser zwischen den Kontakten 4 und 5 oberhalb der Gateelektrode 2 angeordnete Bereich bildet die Kanalregion 7, in der die Leitfähigkeit des organischen Halbleiters vom Feld der Gateelektrode 2 beeinflusst wird. In diesem Bereich muss der organische Halbleiter daher eine geringe elektrische Leitfähigkeit aufweisen. In den Kontaktbereichen 8 und 9, welche oberhalb des Sourcekontakts 4 bzw. Drainkontakts 5 angeordnet sind, ist der Halbleiter mit einer Dotiersubstanz dotiert. Diese Bereiche zeigen daher eine hohe elektrische Leitfähigkeit, was den Übergang von Ladungsträgern aus dem Sourcekontakt in die Schicht des organischen Halbleiters 6 bzw. aus der Schicht des organischen Halbleiters 6 in den Drainkontakt 5 erleichtert. Um in den unterschiedlichen Abschnitten des organischen Halbleiters 6 eine unterschiedliche Leitfähigkeit verwirklichen zu können, wird der organische Halbleiter 6 im Bereich der Kanalregion mit einer lichtundurchlässigen Fotomaske 10 abgedeckt. Die Fotomaske 10 kann mit üblichen Verfahren aufgebracht und strukturiert werden. Insbesondere besteht auch die Möglichkeit der Verwendung herkömmlicher Chrom-auf-Glas-



Masken oder Chrom-auf-Quarz-Masken, wie sie gewöhnlich in der Halbleitertechnologie für die Photolithographie verwendet werden. Anschließend wird eine Dotiersubstanz in den organischen Halbleiter 6 eingebracht und der Transistor von der Seite des organischen Halbleiters, die im Sinne der Erfindung als Vorderseite bezeichnet wird, mit einer Aktivierungsstrahlung, beispielsweise UV-Strahlung, belichtet. Dabei wird die Dotiersubstanz angeregt, und wird durch eine chemische Reaktion in den belichteten Bereichen im organischen Halbleiter irreversibel fixiert. Anschließend wird die Fotomaske 10 abgenommen und nicht abreagierte Dotiersubstanz aus der Kanalregion 7 bei erhöhter Temperatur oder vermindertem Druck wieder entfernt. Der organische Halbleiter erhält daher in der Kanalregion 7 wieder seine ursprüngliche niedrige elektrische Leitfähigkeit.

Fig. 1(b) zeigt einen vergleichbaren Aufbau wie der in Fig. 1(a) dargestellte Transistor, wobei jedoch der Sourcekontakt 4 und der Drainkontakt 5 oberhalb des organischen Halbleiters 6 angeordnet ist. Wie bereits für den in Fig. 1(a) dargestellten Aufbau beschrieben, wird zunächst eine Gateelektrode 2 auf einem Substrat 1 abgeschieden und mit einem Gatedielektrikum 3 isoliert. Anschließend wird auf dem Dielektrikum 3 eine Schicht eines organischen Halbleiters 6 abgeschieden. Die Schicht des organischen Halbleiters 6 umfasst Kontaktbereiche 8, 9, in denen mit Hilfe einer Dotiersubstanz die elektrische Leitfähigkeit des organischen Halbleiters erhöht ist. In der Kanalregion 7 ist der organische Halbleiter nicht dotiert und weist daher eine niedrige elektrische Leitfähigkeit auf. Um Bereiche unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit im organischen Halbleiter 6 ausbilden zu können, wird auf die Schicht des organischen Halbleiters 6 zu-

nächst eine (nicht dargestellte) Fotomaske aufgebracht und strukturiert, welche den Bereich der Kontaktregion 7 abdeckt. Es wird dann wie oben beschrieben eine Dotiersubstanz in die Schicht des organischen Halbleiters 6 eingebracht und durch Belichtung mit einer geeigneten Strahlung, z. B. UV-Strahlung, im organischen Halbleiter 6 fixiert, wobei eine Fixierung nur in den belichteten Bereichen erfolgt. Anschließend wird bei erhöhter Temperatur und reduziertem Druck nicht abreagierte Dotiersubstanz aus dem organischen Halbleiter wieder entfernt. Auf die Schicht des modifizierten organischen Halbleiters wird dann ein Sourcekontakt 4 und ein Drainkontakt 5 aufgebracht, wobei diese die zuvor mit der Dotiersubstanz dotierten Bereiche des organischen Halbleiters abdecken. Die Kontakte 4 und 5 sind dabei so angeordnet, dass sie in Aufsicht gesehen, in den Überlappungsbereichen 4a, 5a mit der Gateelektrode 2 überlappen. Dadurch wird die elektrische Leitfähigkeit in der Kanalregion 7, welche eine niedrige elektrische Leitfähigkeit aufweist, vom Feld der Gateelektrode 2 beeinflusst, während die dotierten Bereiche 8, 9, welche eine hohe elektrische Leitfähigkeit aufweisen, vom Feld der Gateelektrode im Wesentlichen nicht beeinflusst werden. Zuletzt wird die (nicht dargestellte) Fotomaske wieder von der Schicht des organischen Halbleiters 6 entfernt und gegebenenfalls in einem weiteren Schritt noch in der Kanalregion 7 vorhandene ungebundene Dotiersubstanz bei erhöhter Temperatur und/oder erniedrigtem Druck entfernt.

Das Verfahren zur Herstellung der in Fig. 1(b) gezeigten Anordnung der Bestandteile des Feldeffekttransistors lässt sich weiter vereinfachen, wenn das Substrat 1 und das Gatedielektrikum 3 aus einem für die Aktivierungsstrahlung transparenten Material bestehen. Die Belichtung der zu dotierenden Bereiche erfolgt dann

durch Bestrahlung der Rückseite der Anordnung mit der Aktivierungsstrahlung, also von der Seite her, die durch das Substrat 1 gebildet wird. Die Gateelektrode 2 schirmt dann den Bereich der Kanalregion 7 von der Aktivierungsstrahlung ab, so dass in diesem Bereich keine Dotierung des Halbleiters erfolgt. Die Gateelektrode wirkt dann selbstjustierend. Auf die Verwendung einer Maske kann daher verzichtet werden.

In Fig. 1(c) ist eine Transistorstruktur dargestellt, zu deren Herstellung nur drei Abscheidungsschritte erforderlich sind. Bei der Herstellung wird zunächst auf einem Substrat 1 gleichzeitig eine Gateelektrode 2 sowie ein Sourcekontakt 4 und eine Drainkontakt 5 abgeschieden und strukturiert. Sourcekontakt 4 bzw. Drainkontakt 5 und Gateelektrode 2 sind dabei beabstandet zueinander auf dem Substrat 1 angeordnet und bestehen im Allgemeinen aus dem gleichen Material, z. B. einem Metall oder einem elektrisch leitfähigen Polymer. Auf der Gateelektrode 2 wird anschließend ein Gatedielektrikum 3 abgeschieden, um diese zu isolieren, wobei die Abstände zwischen Sourcekontakt 4 und Gateelektrode 2 bzw. Drainkontakt 5 und Gateelektrode 2 vom Gatedielektrikum 3 ausgefüllt werden. Auf die so erzeugte Anordnung wird in einem weiteren Abscheidungsschritt eine Schicht eines organischen Halbleiters 6 abgeschieden. Sourcekontakt 4, Drainkontakt 5 und Gateelektrode 2 sind bei der in Fig. 1(c) dargestellten Anordnung in einer Ebene angeordnet. Dadurch entstehen in der Schicht des Halbleiters 6 zwischen Source- und Drainkontakt Bereiche, die vom Feld der Gateelektrode nicht beeinflusst werden. Auch wenn an der Gateelektrode 2 eine Spannung angelegt wird, erhöht sich daher in diesen Bereichen die elektrische Leitfähigkeit des organischen Halbleiters nicht. Um diesen Nachteil auszugleichen, werden die Bereiche

des organischen Halbleiters 6, die von dem Feld der Gateelektrode 2 nicht beeinflusst werden, mit einer Dotiersubstanz dotiert, um die elektrische Leitfähigkeit zu erhöhen. Dazu wird zunächst die Kanalregion 7, in der die niedrige Leitfähigkeit des organischen Halbleiters erhalten bleiben soll, mit einer Fotomaske 10 abgedeckt. Anschließend wird die Dotiersubstanz in den organischen Halbleiter 6 eingebracht und die Anordnung von der Vorderseite, d. h. der Seite der organischen Halbleiterschicht 6, belichtet, um die Dotiersubstanz irreversibel im organischen Halbleiter 6 zu fixieren. Es werden dadurch Bereiche 8, 9 erhalten, die mit dem Sourcekontakt 4 und dem Drainkontakt 5 in Kontakt stehen und eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Anschließend wird die Fotomaske 10 wieder entfernt und ungebundene Dotiersubstanz bei erhöhter Temperatur und/oder verringertem Druck aus dem organischen Halbleiter wieder entfernt, so dass dieser in der Kanalregion 7 wieder seine ursprüngliche niedrige elektrische Leitfähigkeit erhält. Damit fallen die Bereiche 8 und 9, die vom Feld der Gateelektrode 2 nicht beeinflusst werden, wegen ihrer erhöhten elektrischen Leitfähigkeit bei den Schaltvorgängen des organischen Transistors nicht mehr ins Gewicht.

Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen organischen Transistors ist in Fig. 2 dargestellt. Auf einem Substrat 1 sind wiederum ein Sourcekontakt 4, eine Gateelektrode 2 und ein Drainkontakt 5 beabstandet zueinander nebeneinander angeordnet. Source- und Drainkontakt 4, 5 sowie Gateelektrode 2 bestehen dabei bevorzugt aus dem gleichen Material. Die Gateelektrode 2 ist mit einem Gatedielektrikum 3 isoliert. Die Anordnung ist dabei so gewählt, dass zwischen dem Gatedielektrikum 3 und dem Sourcekontakt 4 ein Abstand 11a bzw. zwischen dem Gatedielek-

trikum 3 und dem Drainkontakt 5 ein Abstand 11b erhalten wird, auf dem der organische Halbleiter 6 direkt auf dem Substrat 1 aufgetragen ist. Auf der aus Sourcekontakt 4, Drainkontakt 5, Gatedielektrikum 3 und dem Substrat 1 gebildeten Anordnung ist eine Schicht des organischen Halbleiters 6 aufgetragen. Diese umfasst Bereiche 8, 9, in denen eine Dotiersubstanz irreversibel im organischen Halbleiter fixiert ist und dadurch dessen elektrische Leitfähigkeit deutlich erhöht ist. In der Kanalregion 7, die vom Feld der Gateelektrode 2 beeinflusst wird, ist keine Dotiersubstanz im organischen Halbleiter 6 fixiert, weshalb er in diesem Bereich eine niedrige elektrische Leitfähigkeit aufweist.

Die Herstellung des in Fig. 2 gezeigten organischen Transistors wird anhand von Fig. 3 erläutert.

Nach dem Reinigen der Oberfläche des Substrats 1, das z. B. aus Glas oder einer Polymerfolie bestehen kann, wird eine Schicht eines geeigneten elektrisch leitfähigen Materials, z. B. Palladium oder Gold aufgebracht und strukturiert, um die Gateelektrode 2 und den Source- und Drainkontakt 4 und 5 zu definieren. Die Metallabscheidung erfolgt beispielsweise durch thermisches Verdampfen, Kathodenstrahlzerstäubung oder Drucken. Die Strukturierung kann z. B. durch Fotolithographie, chemisches Ätzen, Abheben oder Drucken erfolgen. Nachfolgend wird das Gatedielektrikum 3 hergestellt, indem beispielsweise eine Schicht Siliziumdioxid oder Aluminiumoxid oder ein geeigneter organischer Isolator abgeschieden und strukturiert wird. Um die Schicht des organischen Halbleiters 6 zu erhalten, wird anschließend eine etwa 50 nm dicke Pentazenschicht durch thermische Sublimation aus der Gasphase abgeschieden. Alle weiteren Arbeiten werden unter Gelblicht ausge-

führt. Das so präparierte Substrat wird in ein mit einem Quarzfenster ausgestattetes Edelstahlgefäß gebracht und das Gefäß evakuiert. Bei einem Druck von etwa 10 mbar wird im Stickstoffstrom 3 Minuten lang Eisenpentacarbonyl über das Substrat geleitet. Das Eisenpentacarbonyl diffundiert während dieser Zeit in die organische Halbleiterschicht 6 ein. Das Substrat wird dann von der Rückseite 12 durch das Quarzfenster hindurch mit einer Quecksilberdampfampe polychromatisch belichtet, z. B. 3 Minuten lang bei  $15 \text{ mW/cm}^2$ . Die von der Quecksilberdampfampe ausgesandte Aktivierungsstrahlung aktiviert die Dotiersubstanz Eisenpentacarbonyl und führt zu Abspaltung eines Kohlenmonoxid-Liganden. Die koordinativ ungesättigte Eisenverbindung koordiniert dann an den organischen Halbleiter und wird dadurch irreversibel fixiert. Durch die Gateelektrode 2 wird die Kanalregion 7 von der Aktivierungsstrahlung abgeschirmt, so dass in diesem Bereich keine Fixierung der Dotiersubstanz erfolgt. Durch die Abstände 11a, 11b dringt die Aktivierungsstrahlung in die Schicht des organischen Halbleiters 6 ein und aktiviert dort die Dotiersubstanz, so dass diese irreversibel in der organischen Halbleiterschicht fixiert wird. Nach der Belichtung wird ungebundene Dotiersubstanz entfernt, indem im vorliegenden Beispiel zunächst die Zufuhr von Eisenpentacarbonyl gestoppt wird und anschließend nicht abreagiertes Eisenpentacarbonyl im Stickstoffstrom bei 10 mbar ausgetrieben wird. Auch bei der in den Fig. 2 und 3 dargestellten Transistorstruktur sind Zonen zwischen Source und Gate sowie zwischen Gate und Drain vorhanden, die nicht vom Gatefeld kontrolliert werden. In diesen Zonen hat das an die Gateelektrode angelegte elektrische Feld keinen Einfluss auf die Ladungsträgerdichte in der Halbleiterschicht 6. Die Überlappungen sind aber nicht erforderlich, da der Halbleiter in den Zonen 8, 9, die nicht vom Gatefeld beeinflusst wer-

den, eine hohe elektrische Leitfähigkeit besitzt. In diesem Falle ist es ausreichend, wenn die Gateelektrode nur den Bereich der Kanalregionen 7 beeinflusst, der durch eine niedrige elektrische Leitfähigkeit gekennzeichnet ist.

Die in Fig. 2 gezeigte Anordnung lässt sich noch verbessern, wenn neben dem Substrat 1 auch das Gatedielektrikum 3 aus einem für die Aktivierungsstrahlung transparenten Material besteht. Welches Material für das Gatedielektrikum 3 verwendet werden kann, hängt von der Wellenlänge der Aktivierungsstrahlung ab, also von der Art der Dotiersubstanz und vom energetischen Zusammenspiel zwischen Dotiersubstanz und Halbleiter. Siliziumdioxid zum Beispiel ist im Bereich des sichtbaren Lichts und im nahen UV transparent, nicht aber für UV-Strahlung mit Wellenlängen unterhalb etwa 350 nm. Bei der Belichtung der Anordnung von der Rückseite werden dann lediglich die Bereiche des organischen Halbleiters nicht erfasst, die durch die Gateelektrode 2 von der Aktivierungsstrahlung abgeschirmt werden. Die dotierten Kontaktbereiche 8a und 9a schließen sich nahtlos an den vom Feld der Gateelektrode 2 beeinflussten Bereich der Kanalregion 7 an.

Für die Herstellung der in den Fig. 2 und 3 dargestellten Transistorstruktur sind nur drei Materialabscheidungs- und Strukturierungsprozesse erforderlich. Die vorgeschlagene, vereinfachte Transistorstruktur ermöglicht die Belichtung der Kontaktbereiche mittels einer selbstjustierten Rückseitenbelichtung und so die Erzeugung lokalisierter Dotiergruppen in den Kontaktregionen 8, 9, ohne dass sich die elektrische Leitfähigkeit im Kanalbereich 7 erhöht, da dieser während der Rückseitenbelichtung durch die lichtundurchlässige Gateelektrode 2 geschützt ist. Dadurch lassen

sich die Herstellkosten des Transistors wesentlich verringern und die Ausbeute lässt sich erhöhen.



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Dotierung elektrisch leitfähiger organischer Verbindungen, wobei eine durch Belichtung mit einer Aktivierungsstrahlung aktivierbare Dotiersubstanz in eine elektrisch leitfähige organische Verbindung eingebracht wird und die elektrisch leitfähige organische Verbindung mit der Aktivierungsstrahlung belichtet wird, wodurch die aktivierbare Dotiersubstanz irreversibel in der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung fixiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei nach der Belichtung ungebundene Dotiersubstanz aus der elektrisch leitenden organischen Verbindung wieder entfernt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die irreversible Fixierung der Dotiersubstanz durch Ausbildung einer kovalenten Bindung und/oder durch Ausbildung einer koordinativen Bindung zur elektrisch leitfähigen organischen Verbindung erfolgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die elektrisch leitfähige organische Verbindung ein organischer Halbleiter ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Belichtung der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung abschnittsweise erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die abschnittsweise Belichtung mit einer Fotomaske durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei in der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung lichtundurchlässige Bereiche vorgesehen sind, welche für die zur Belichtung verwendete Aktivierungsstrahlung undurchlässig sind, und bei der Belichtung unbelichtete Abschnitte in der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung erhalten werden, die in Richtung von einer zur Belichtung verwendeten Strahlungsquelle zur elektrisch leitfähigen organischen Verbindung gesehen hinter den lichtundurchlässigen Bereichen angeordnet sind.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die lichtundurchlässigen Bereiche von einer Gateelektrode gebildet werden.

9. Verfahren zur Herstellung eines organischen Feldeffekttransistors, wobei auf einem Substrat eine Gateelektrode, ein Sourcekontakt, ein Drainkontakt, ein Gatedielektrikum und ein organischer Halbleiter abgeschieden wird, in den organischen Halbleiter eine durch Belichtung mit einer Aktivierungsstrahlung aktivierbare Dotiersubstanz eingebracht wird, mit der Aktivierungsstrahlung abschnittsweise belichtet wird, so daß in an den Sourcekontakt und den Drainkontakt angrenzenden Bereichen des organischen Halbleiters die Dotiersubstanz irreversibel im organischen Halbleiter fixiert wird, und an den Sourcekontakt und den Drainkontakt angrenzende Kontaktbereiche mit erhöhter elektrischer Leitfähigkeit erhalten werden.

10. Verfahren zur Herstellung eines organischen Feldefekttransistors nach Anspruch 9, wobei zur abschnittsweisen Belichtung eine Fotomaske aufgebracht wird.

11. Verfahren zur Herstellung eines organischen Feldeffekttransistors nach Anspruch 9, wobei auf einem für eine Aktivierungsstrahlung transparenten Substrat eine Gateelektrode sowie zur Gateelektrode beabstandete Source- und Drainkontakte abgeschieden werden, auf der Gateelektrode ein Gatedielektrikum in der Weise abgeschieden wird, dass zwischen Gatedielektrikum und Sourcekontakt sowie zwischen Gatedielektrikum und Drainkontakt ein Abstand erhalten wird, in dem das Substrat unbedeckt ist, ein organischer Halbleiter auf dem Substrat, dem Sourcekontakt, dem Drainkontakt und dem Gatedielektrikum abgeschieden wird, wobei der Abstand zwischen Gatedielektrikum und Sourcekontakt und/oder der Abstand zwischen Gatedielektrikum und Drainkontakt von dem organischen Halbleiter ausgefüllt wird, eine durch Belichtung mit der Aktivierungsstrahlung aktivierbare Dotiersubstanz in den organischen Halbleiter eingebracht wird, von der Seite des Substrats mit der Aktivierungsstrahlung be-  
lichtet wird, so dass angrenzend zum Sourcekontakt und zum Drainkontakt Kontaktbereiche mit erhöhter Leitfähigkeit im organischen Halbleiter erhalten werden, und anschließend überschüssige Dotiersubstanz aus dem organischen Halbleiter entfernt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei Gateelektrode, Source- und Drainkontakt gleichzeitig auf dem Substrat abgeschieden werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei das Gatedielektrikum aus einem für die Aktivierungsstrahlung transparenten Material aufgebaut ist.

14. Organischer Feldeffekttransistor mit einer Gateelektrode (2), einem die Gateelektrode (2) isolierenden Gatedielektrikum (3), einem Sourcekontakt (4), einem Drainkontakt (5) und einem zwischen Source- und Drainkontakt angeordneten organischen Halbleiter, wobei der organische Halbleiter angrenzend an den Sourcekontakt (4) und/oder den Drainkontakt (5) einen Kontaktbereich (8, 9) aufweist, der mit einer im organischen Halbleiter irreversibel fixierten Dotiersubstanz dotiert ist.

15. Organischer Feldeffekttransistor nach Anspruch 14, wobei der organische Feldeffekttransistor eine Vorder- und eine Rückseite aufweist, und die Rückseite zumindest einen Abschnitt (11a, 11b) umfasst, der von dem organischen Halbleiter gebildet wird.

16. Organischer Feldeffekttransistor nach Anspruch 14 oder 15, wobei die Rückseite mindestens einen Abschnitt umfasst, der vom Sourcekontakt (4) oder vom Drainkontakt (5) gebildet wird, der sich an den vom organischen Halbleiter gebildeten Abschnitt (11a, 11b) anschließt.

17. Organischer Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 14 oder 15, wobei der vom organischen Halbleiter gebildete Abschnitt (11a, 11b) mit der irreversibel fixierten Dotiersubstanz dotiert ist.

18. Organischer Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 14 bis 17, wobei die Dotiersubstanz durch eine kovalente oder eine koordinative Bindung im organischen Halbleiter irreversibel fixiert ist.

19. Organischer Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 14 bis 18, wobei in Aufsicht auf den organischen Feldeffekttransistor Gateelektrode (2), Sourcekontakt (4) und Drainkontakt (5) keine Überlappung aufweisen und zwischen der Gateelektrode (2) und dem Sourcekontakt (4) und/oder zwischen der Gateelektrode (2) und dem Drainkontakt (5) Abschnitte des organischen Halbleiters (8, 9) angeordnet sind, die mit der irreversibel fixierten Dotiersubstanz dotiert sind und eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit aufweisen.

## Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Dotierung elektrisch leitfähiger organischer Verbindungen, ein Verfahren zur Herstellung organischer Feldeffekttransistoren sowie einen organischen Feldeffekttransistor mit vereinfachter Struktur. Gemäß dem beanspruchten Verfahren wird eine Dotiersubstanz, welche durch Belichtung mit einer Aktivierungsstrahlung aktivierbar ist, in eine elektrisch leitfähige organische Verbindung eingebracht und die elektrisch leitfähige organische Verbindung mit der Aktivierungsstrahlung belichtet. Durch die Aktivierungsstrahlung wird eine chemische Reaktion ausgelöst, durch welche die Dotiersubstanz irreversibel in der elektrisch leitfähigen organischen Verbindung fixiert wird. Dieses Verfahren lässt sich für die Herstellung von organischen Transistoren nutzen, indem selektiv die Kontaktbereiche des organischen Halbleiters angrenzend zum Sourcekontakt und zum Drainkontakt mit der Dotiersubstanz dotiert werden. Dadurch erhöht sich in diesen Bereichen die elektrische Leitfähigkeit des organischen Halbleiters, wodurch der Übergang von Ladungsträgern zwischen Source- bzw. Drainkontakt und organischem Halbleiter erleichtert wird. Durch eine geschickte Anordnung der einzelnen Elemente eines Transistors, lässt sich eine Transistorstruktur verwirklichen, die wesentlich kostengünstiger herzustellen ist als bisher bekannte organische Feldeffekttransistoren. Dabei ist auf einem Substrat (1) ein Sourcekontakt (4), ein Drainkontakt (5) und eine Gateelektrode (2) nebeneinander angeordnet. Die Gateelektrode (2) ist mit einem Gatedielektrikum (3) isoliert, wobei die Anordnung so gewählt wird, dass zwischen Gatedielektrikum (3) und Source- bzw. Drainkontakt (4, 5) ein Abstand (11a, 11b) entsteht, in dem der organische Halbleiter (6) direkt auf dem

Substrat (1) aufgetragen ist. Durch Rückseitenbelichtung können dotierte Bereiche (8, 9) erzeugt werden, in denen der organische Halbleiter (6) eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit aufweist, während in der vom Feld der Gateelektrode (2) beeinflussten Kanalregion (7) eine niedrige elektrische Leitfähigkeit des organischen Halbleiters (6) bleibt.

(Fig. 2)

Fig. 1a

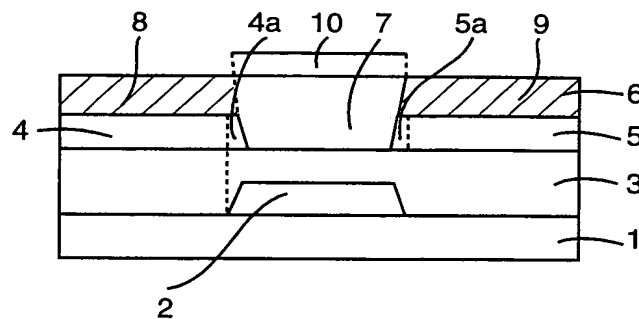


Fig. 1b

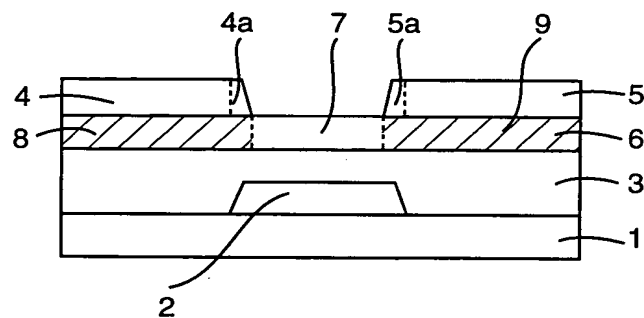


Fig. 1c

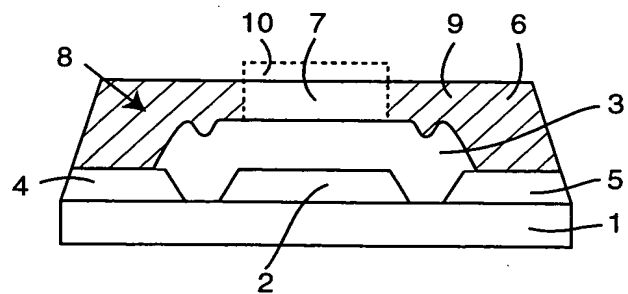




Fig. 2

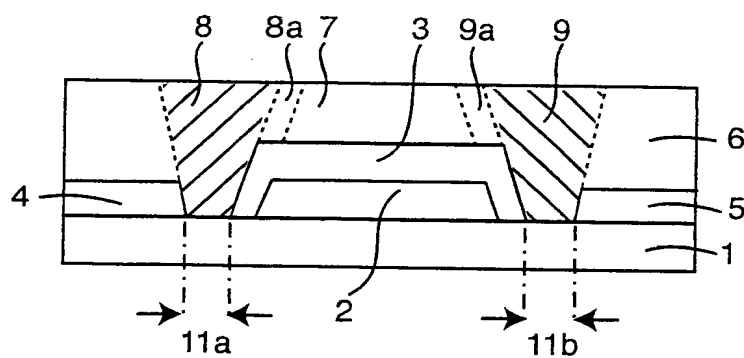
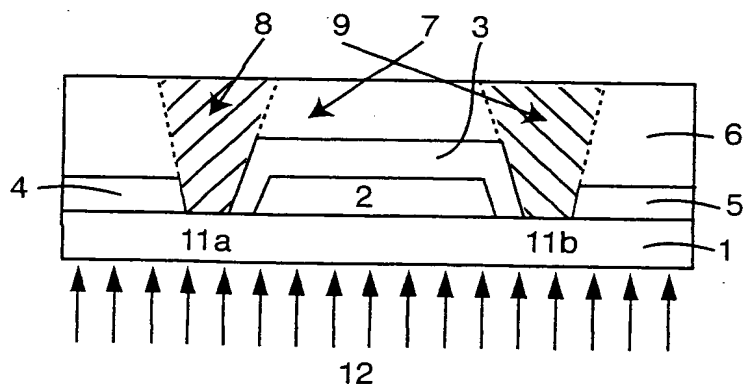


Fig. 3



Figur für die Zusammenfassung

Fig. 2

